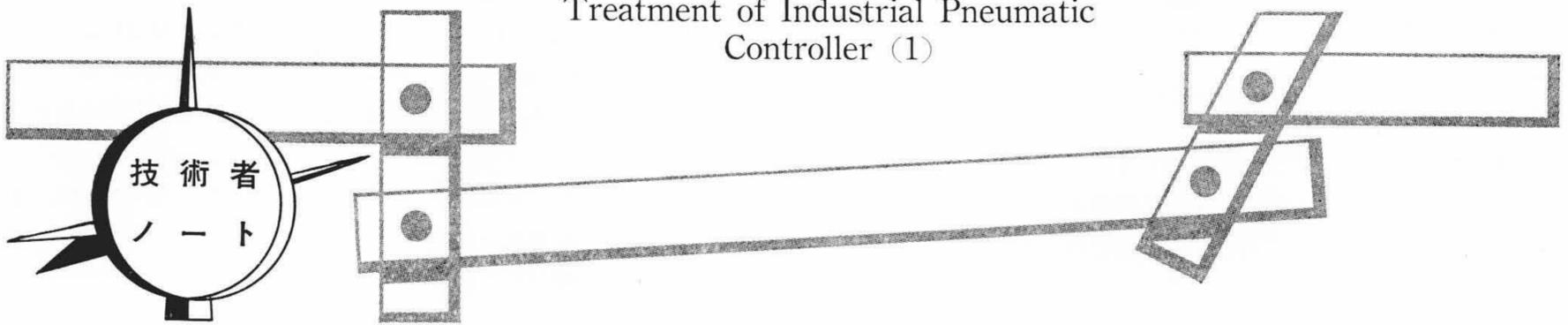
U.D.C. 621.525.004.2

空気作動式調節計の取扱い(その1)

Treatment of Industrial Pneumatic Controller (1)

小野寺 進*
Susumu Onodera

1. 概論

工業計器が生産合理化にきわめて有用であることが実際に認識されるようになってから，近時急に多方面にわたって多種類のものが用いられるようになった。このことは必然的に工業計器の進歩をうながし，ますます利用される情勢にある。今後とも，この傾向は強くつづき，諸工業の進展に寄与することであろう。

したがって，はじめて工業計器の設置，すなわち計装を計画される方も増加してくると思われる。計器が取付けられる以上，その指示値によって，手動であれ，自動であれ，なんらかの操作が必ず伴うものであり，個々の自動制御から，関係制御など，高度の自動化が逐次進められている現状である。ここにプロセス自動制御機器の中でも，最も広く用いられ，その効用も十分に認められている空気作動式調節計を実際に取扱い，運転するために，いかなる点に意を用うべきかについて述べて，参考に供したいと思う。

空気作動式調節計は，操作端(制御端)を作動させるのに圧縮空気を用いるもので，運転の経済という観点からみて各種のよい性能の操作端が使用できる長所がある。制御用機器を選ぶ考え方は，負荷変動に対してすみやかに応答すること，統合された制御系となること，プラントの状態を自動的に最適状態にすること，および少ない費用でプラント状態や効率が最も都合のいい形態になっているようにすることなどを基礎にして決めるべきであろう。このためには検出法についても種々検討を加える必要があろうが，この稿では，できるだけこの検出の方法について詳述することはやめ，空気作動式調節計およびその付属品共通の問題や方法について述べることとし，制御用各機器については，取扱い上必要なところはできるだけ種類別に述べて利用していただく各位の多少なりともお役に立つようにつとめた。

第1図 空気作動式調節計の系統

* 日立製作所多賀工場

2. 空気作動式調節計概要

まず最初に空気作動式調節計についての系統的な，大づかみの知識を頭に入れておく必要があろう。

空気作動式調節計は，第1図に示すように，系統的には空気以外の補助動力を使ったものとなんら変りがないが，操作端の位置を変えるための力は圧縮空気である。供給空気圧は1.2 kg/cm²の圧縮空気を使用し，操作端は最高1 kg/cm² の空気圧で全ストローク作動するように構成されている。検出の方法は千差万別で，たとえば流量の場合には，オリフィスなどの変圧式，面積式，あるいは容積式などあらゆる方法が応用でき，この検出方法によって，空気圧信号に変えたり電気信号に変えたり，あるいは直動式であったり電子管式自動平衡式を使ったりすることができる。

調節計には次のような動作がある。

比例動作 (P動作)

設定点からの偏差に比例して操作端の位置(開度)を変える動作で，最も簡単でしかも空気作動式調節計の基本的な形になっている動作である。この調節計を使用している場合，負荷変動または状態の変化がおきると，オフセット(残留偏差)が生ずる。

積分動作 (I動作)

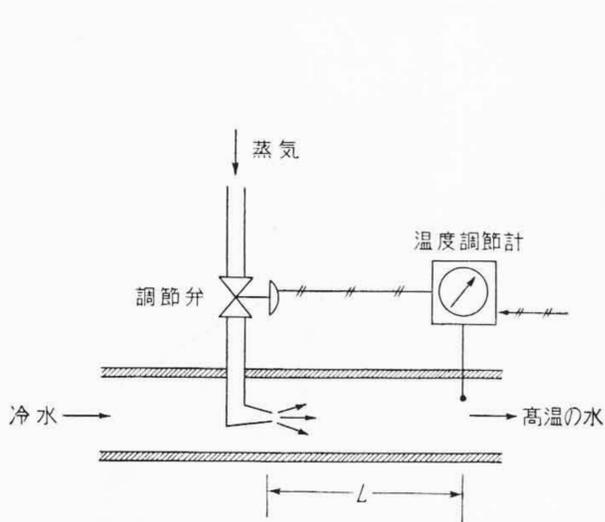
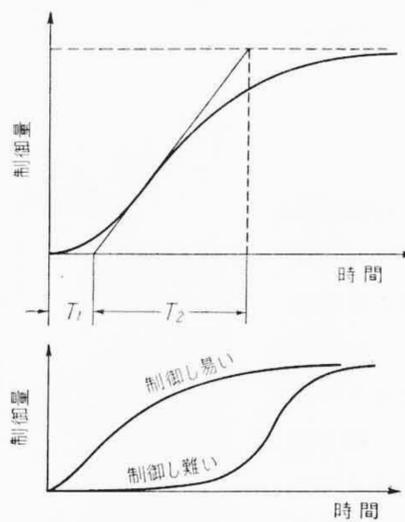
設定点からの偏差に比例した速度で操作端の位置(開度)を変える動作で，偏差のみでなく持続時間にも比例する信号を調節計の出力として出すため，偏差が存在する限り積分動作信号はその偏差を打消す方向に動きつづける。したがって負荷変動に基く偏差は最終的に零にならねばならず，オフセットは消える。このため積分動作はオートマチックリセット動作とも呼ばれ，空気作動式調節計では比例動作に付加された形で使用される。

微分動作 (D動作)

偏差の変化速度に比例して操作端の位置(開度)を変える動作で，P動作，I動作ともに偏差の量によって操作端の位置をかえるが，偏差の変化割合のみに依存する微分動作は，偏差の変化がなければなんら訂正動作は行わない。したがってオフセットを除去する能力はないが，操作を先まわりさせて負荷変化による制御量の変動をすみやかに安定させる有効な働きをもっている。

これらの動作は，対象の種類性質によって適宜組合わされて使用されるが，それぞれの動作は，そのきき方をかえることができ，比例動作であれば比例帯，積分動作では積分時間，微分動作では微分時間をそれぞれ対象の応答のしかたで種々にかえ，そのプラントに最適の状態にもってゆく必要がある。この各要素の調整の良否が，現場において最も上手に調節計を使いうるか否かのキーポイントであり，取付方法の可否，保守の良否とならんで，最も関心をもつべきことの一つである。

	位置形	液面形	圧力形	温度形
インディシャル応答 μ t（時間）	φ t	φ t	φ t	φ t
代表例	μ 流量 φ	液位 φ μ ポンプ	μ 圧力 φ	μ 温度 φ
液位制御の場合の例	———	同上	液位 φ μ	μ 液位 φ

第1表 プロセスの応答

第2図 むだ時間のある制御例

第3図 温度形応答の時定数

3. プロセスの性質と制御の難易

工業計器を用いて自動制御を行おうとする場合，いくら高価な，しかも高性能な調節計を購入して取付けても，相手すなわちプロセスの性質がよくわかった上で，調節計を最適状態にもって行かなくてはよい結果が得られないので，ここにプロセスの性質と，それに関連した応用上の留意点について述べてみたい。

プロセスという意味は，ただ単なる工程ということでなく，また装置という具体化されたものでもない。制御対象である各種の連続した系を示す広い意味をもっている。この特性をよくはあくし，それに適合した制御装置を選び，最適の調整を行うことが，プロセス制御の成否を決定するものであることは前述のとおりである。

制御系統は，たとえば温度の高低を示す電気的信号，操作端の位置を指令する空気圧信号など，制御にあずかるいろいろな信号（変化量）伝達の閉回路である。したがって制御装置（調節計）と制御対象（プロセス）との動特性（時間の関数がはいった特性）はどちらも同等に重要であり，同時に操作端そのものの特性も大切で，たとえばヒステリシスの多い操作端は制御上重大な支障になることがある。

制御装置は一般に想定される対象に対して，広い適応性をもつように調整範囲が与えてあるから，試運転や，自動運転時には，運転の状態によって適当な調整が可能である。

一方，プロセスの特性は，たとえば流量であれば，遅れがなく応答するであろうとおおよそ推定することはできるが，しかし，操作端の取付位置によって，流量の検出であっても応答のしかたが異なることがあるから注意が必要である。

プロセスの特性には，静特性と動特性とがあり，静特性は増幅率のように時間に関係なく，十分な時間をかければ求めることができるものが多く，実験でも割合に容易に求めることができるが，制御上，より問題となるのは，時間とともにいかに応答してゆくかを示す動特性である。プロセスの動特性を調べる方法として，おもに次の三つの方法がとられている。

（1） インディシャル応答

操作端を階段状に変化させたときの応答のしかたを調べる。

（2） 周波数応答

波状の操作量に対して応答の振幅，周波数がいかに変るかを調べる。

（3） ランプ関数応答

一定速度で操作端を変化させたときの応答のしかたを調べる。

このうち，最も理解しやすいインディシャル応答で分類したものが**第1表**で，この表からも明らかのように，同じ液体制御を考えてみても，調節弁の位置により，タンクの構成により，ある時は液面形，圧力形，あるいは温度形の応答を示すわけで，圧力形は一次おくれ，温度形は二次おくれのプロセスと呼ばれる。一次おくれは二次おくれに比べて制御上困難なことが多く，いい方をかえれば，液位制御に際しては，二次おくれを生じないような操作端の位置を選ぶようにしたほうが，実際上も経済的にも有利になることがいえる。

自動制御に悪い影響を与えるものはむだ時間である。**第2図**で，外部に対して熱損失がないと考えると，水は蒸気の直接の噴射によって加熱されるので，蒸気噴射量のどんな変化でも，すぐに噴射近傍の水の温度変化となる。この水が検出端（たとえばサーチコイル）までの距離を流れてはじめて温度変化が，調節計に感じられる。この時間が，むだ時間と呼ばれるもので，この時間だけたって温度変化が調節計に感ずるまでは，調節計は訂正動作を行わない。温度変化は急速に増大することもあり，減少することもあり，また，符号が変ることもありうるわけで，いずれの場合も，目標値以外の温度になった水が流出してゆくことになる。特に**第2図**の場合には噴出した蒸気が全部水になって流れるので，蒸気噴出量によって，むだ時間の長さも変化することになり，制御上非は常に思わしくない結果となる。言いかえると，検出点の決定に際しては，このようなむだ時間ができるだけ短くなるように注意しなくてはならない。

第3図は，前述の温度形プロセスのインディシャル応答を示す。この曲線の切線は，変曲点で引き，図に示すように二つの時定数が求められる。この T_1 と T_2 の比がこのプロセスの制御の難易を示す目安として応用できる。

$$\frac{T_1}{T_2}=\text{困難度}$$

困難度が大きいほど，自動制御はむずかしくなる。大きいということは T_1 が大，T_2 が小ということで，図に制御のむずかしいものとやさしいものの例を示してある。

4. 受入れとその準備

装置の新設の場合には，その本体工事の時機と見合わせて計器が納入されてくるが，一般構造用資材や，多少手荒な取扱いに耐える

第2表　ISA 工業計測用シンボル仮規格

第1字（プロセス変数または動作）		第2字および第3字（装置の形式）												
名称	記号	調節装置				安全弁	測定装置		監視用ガラス器具（測定せず）	警報装置			検出部	差込口
		各種調節計			自力調節弁（完全な）									
		記録	指示	無指示			記録	指示		記録	指示	無指示		
		-RC	-IC	-C	-CV	-SV	-R	-I	-G	-RA	-IA	-A	-E	-W
温度	T-	TRC	TIC	TC	TCV	TSV	TR	TI	○	TRA	TIA	TA	TE	TW
流量	F-	FRC	FIC				FR	FI	FG	FRA	FIA		FE	○
液面	L-	LRC	LIC	LC	LCV		LR	LI	LG	LRA	LIA	LA		○
圧力	P-	PRC	PIC	PC	PCV	PSV	PR	PI	○	PRA	PIA	PA	PE	○
密度	D-	DRC	DIC	DC			DR	DI	○	DRA	DIA			○
手動	H-	HRC	HIC	HC	HCV		○	○	○	○	○		○	○
湿度	M-	MRC	MIC	MC			MR	MI	○	MRA	MIA	MA	ME	○
導電度	C-	CRC	CIC				CR	CI	○	CRA	CIA	CA	CE	○
速度	S-	SRC	SIC	SC	SCV	SSV	SR	SI		SRA	SIA	SA		○
粘度	V-	VRC	VIC				VR	VI	VG	VRA	VIA			○
重量	W-	WRC	WIC				WR	WI		WRA	WIA		WE	○

○印はこの組合せがまったく不可能であることを示す。
空白部分はその組合せが一般的にありそうもないもの。
ＪＩＳ案では２．３のプロセス変量を加え導電度を除いてある。

機械器具では，いくぶん雨もりや湿気のある不完全な臨時の物置においても致命的な損傷をうけることは少ないが，計器をかかる環境の悪いところに保管すると，勢い取扱いが荒くなって損傷を受ける機会も多い。なお，計器を多く扱ったことのある方はすでに経験ずみと思うが，長期間にわたる湿気のために，致命的な損傷をうける場合もあるので，比較的環境のよい場所を選び，入荷した計器を荷ほどきし整理しておくことが望ましい。計器をパネルに取付けたあとは，ほかの倉庫に転用する予定をたて，受入れ時に間に合うよう早目に倉庫を作るくらいの準備がほしい。

大きなプラントを計装する場合には，数多くの計器がはいってきて，同じ形式の計器でも使用箇所により個々の調整がなされており，使用箇所によって付属品も異なってくるゆえ，このような場合には，納入品明細書によって納品をチェックしなくてはならない。納入品明細書は，メーカーからユーザーに納入前に提出される。また，計器の数が多い場合には包装の外からも一見してわかるように計器符号がつけられることが多い。これはフローシートを書くときのシンボルとして便利なもので，お互に組合わせられる検出端，発信器，調節計，および操作端にも，同じ符号をつけて，組合わせを明りょうにすることができる。このシンボルには，アメリカISAの仮規格があり，日本でもこれを参考にして日本計測学会がJIS案を作成し，最近は多くの場合このシンボルを使用している。ISAの仮規格の骨子を示すと**第2表**のようになり，たとえばこのシンボルの前に装置名，のちに数字で番号をつけたり，操作端である符号(たとえば－V)をつけたりして，この計器符号でどこに使用する何であるかを，一目りょう然にしておくと便利である。

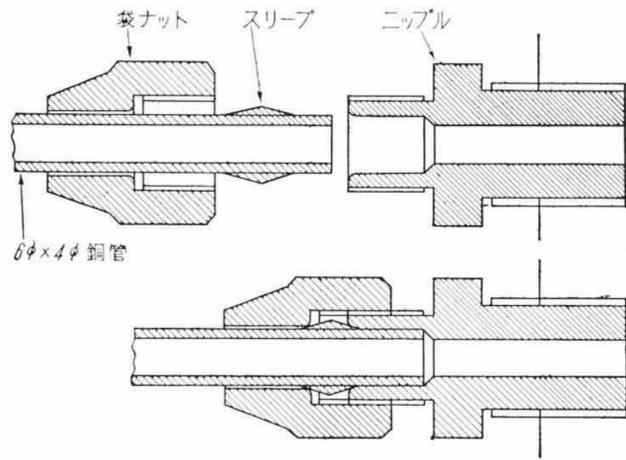
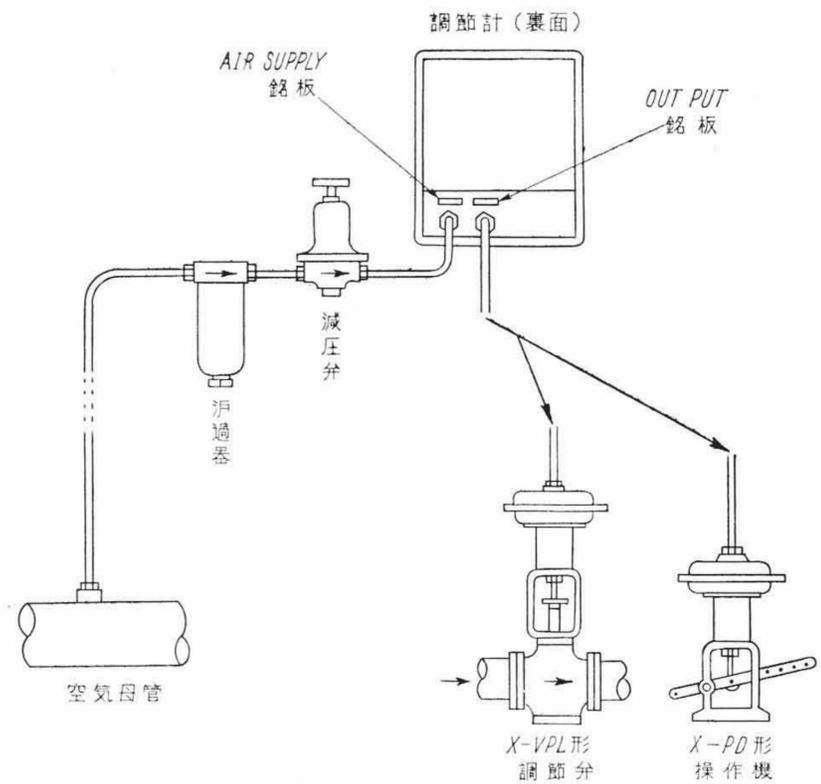
5. 配管工事

流量計用オリフィス，ベンチュリや液面計用圧力取出口などの装置本体と関連のある工事は，よほどの努力をしないと計画者の意志がそこまでは浸透しにくいものである。検出部の配管工事は各種の発信器，検出器があるため個々に詳述することは避け，おもに調節計用の空気配管について述べたい。

調節計には清浄な一定圧力の圧縮空気が必要であるため，配管上の注意事項としては次のことがいえる。

（1）　各内部を通る空気圧力に十分耐えること

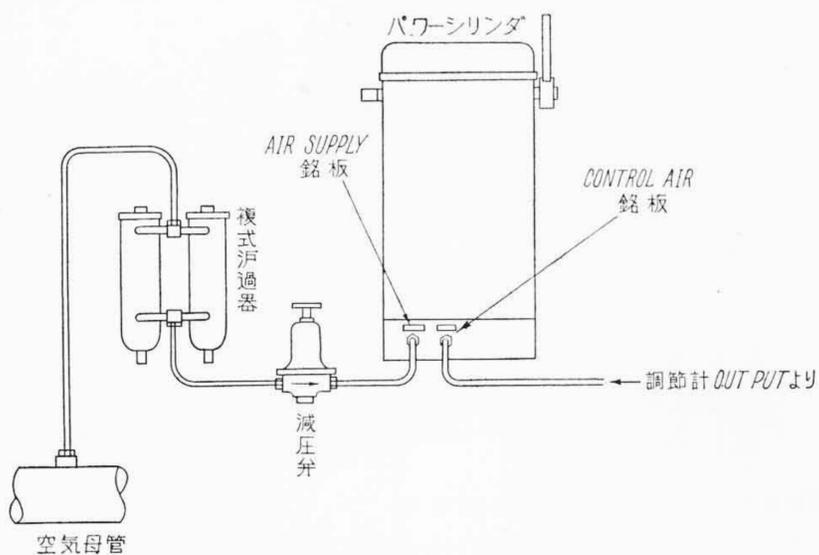
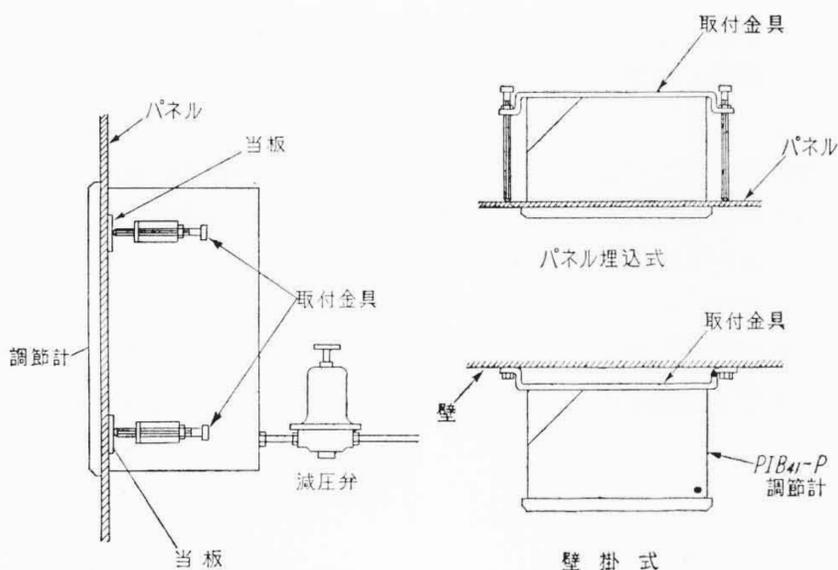
（2）　内部がきれいな材料を用いること

（3）　外部から損傷をうけにくい場所を選ぶこと

第4図　調節計空気配管接続の方法

第5図　調節計の空気配管

（4）　ドレンがたまりやすい所には，適当な吹出し弁を設けること

（5）　継手などから漏れないように，振動の少ない所を選ぶこと

調節計の供給空気圧は 1.2 kg/cm^2 であるため，給気入口の前に減圧弁を入れ，また多くの場合その前に空気中の湿気，油分，じんあいを除くために沪過器をつける。沪過器には，空気源母管の圧力が直接くるので，耐圧は 15 kg/cm^2 とし，空気母管の空気圧は 1.5 kg/cm^2 以上 10 kg/cm^2 までの間が必要である。

空気配管の材料は標準が外径6φ，内径4φの銅管になっている。その接続部の金具は付属品としてつけられている。その使用法は**第4図**に示すように，銅管そのものは先端を広げたりする加工は必要がなく，切断して切口を軽く手仕上げする程度でよい。この接続金具の生命はスリーブであり，スリーブに傷のついているものは使用できない。したがって1組（ニップル，袋ナット，スリーブ）には1個のスリーブが余備品としてつけられている。なにかの理由で配管をはずした場合には新しいスリーブと交換することが漏えい防止のために望ましい。またこの部分はすぐ近くで曲げられると漏れが生ずるゆえ，少なくとも50mm以上は直線状に取出すようにする。ニップルのネジはＰ．Ｔ．¼であるから，特に必要な場合には¼Ｂ配管をすることも可能である。配管の前に管内のじんあいをよく取除き，配管工事が完了したら調節計入口の所をはずしたまま，圧縮空気を1度通して工事中管内に残ったくずなどを吹出すようにすれば，スタート後つまりなどの支障が生じない。

第6図　X-PC パワーシリンダの配管

第7図　調節計のパネル取付　　第8図　PIB$_{41}$-P 調節計の取付

減圧弁，沪過器には空気の流れ方向が明示してあるから，入口，出口の方向をまちがえないようにする。減圧弁は入口，出口を逆に配管すると，減圧の機能を失うから特に注意しなくてはならない。調節計の供給空気入口には，AIR SUPPLY の銘板が，また操作端に行く空気出口には OUT PUT の銘板がついているから，これも**第5図**のように正しく配管する。X-VPL 形調節弁，X-PD 形操作器，バタフライ弁，X-PC 形パワーシリンダなどの操作空気圧の入口にも前述の接続口がそのまま利用できる。X-PV 形バルブポジショナには三つの接続口があるが，各接続口は同じ方法でできるようになっている。

X-PC 形パワーシリンダの場合には空気接続口が二つあるため，供給口には AIR SUPPLY，調節計からの操作空気圧の入口には CONTROL AIR の銘板がはってある。減圧弁，沪過器はそれぞれ調節計の場合と違うから**第6図**にしたがって正しく配管する。

調節計の据付けには，なるべく湿気が少なくじんあいの立たない振動の少ない場所を選ぶ。周囲に高温物体(たとえば炉)があって幅射熱をうけ，温度が高くなるような場所は避けなくてはならない。夏季直射日光をうけて，計器が40°C以上になるような所では，できるだけ日おおいなどによって直射を避けるように配慮したほうが，寿命的にも，保守の上でも（インク切れ防止のためなど）非常に有利となる。正規のパネルでなくアングルで作った簡単な枠にはめたり適当な台の上にのせて使う場合には，調節計が極度に傾いたり，倒れていたりしていると，指示誤差を生じたり，作動の円滑を欠いたりすることがあるから，真直に取付けられるように注意する。

パネル取付けの場合には，パネル取付金具が付属しているから，

第3表　大形空気作動式調節計の種類

分類	形名	備考
電子管式	PVQ-A	温度，湿度，pH，その他多くの対象を制御できる記録調節計，プログラム，制御，カスケード制御，なども可能，PID動作
直動式	PFQ-A (PFI-A)	流量制御，ベローズ式，コイル式などあり，記録(指示)調節計
	PLQ-A (PLI-A)	液面制御，ベローズ式，コイル式などあり，記録(指示)調節計
	PPQ-A (PPI-A)	圧力制御，ベローズ式，ブルドン管式などあり，記録(指示)調節計
	PTQ-A (PTI-A)	温度制御，膨脹式，記録(指示)調節計

これでパネル裏面から確実に固定する。パネルが薄く弱い場合にはパネルの変形を避けるために，**第7図**に示すように適当な当板をあてるようにすればよい。特に PIB$_{41}$-P 形中形調節計の場合には，壁掛式にもできるから取付金具をつけかえて，パネル埋込みにもいずれにも応用できるようにしてある。この状態を**第8図**に示す。

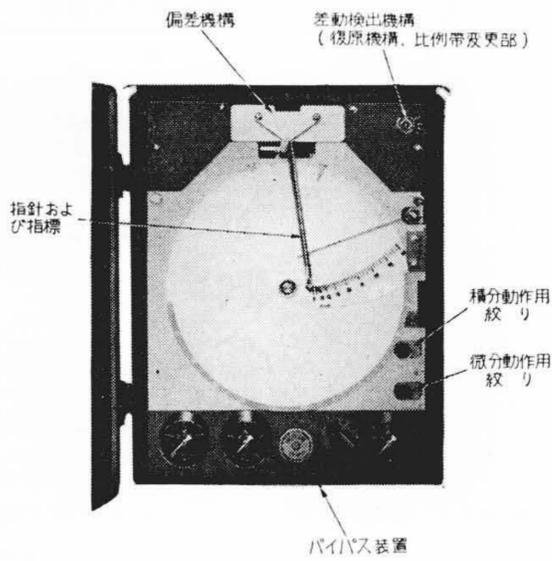
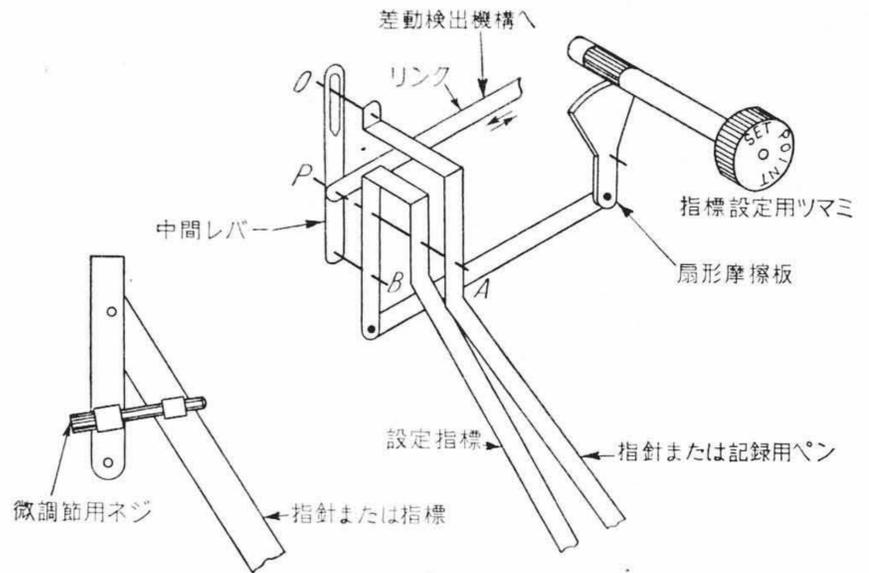
以上が注意しなくてはならない事項であるが，配管，据付けの工事が，たまたま好ましくない結果になるのは，仕事の性質上計器にあまり理解のない人によって施工されるのが最も大きな原因であろう。たとえ関心のある工事人が担当しても，火事場のようないそがしさの中での本体工事の進行中に，取付配管が行われるのが常であるから，時に工事を誤ったりするのはやむをえないとみるべきである。計画者の要望するりっぱな工事ができるようにと，いかに完全無欠の取扱説明書が準備されていても，上述のような環境で行われるのであるから，これを現場で精読する暇もないことであろうが，取付けの要点をはあくして，よくチェックを行い，運転が開始されてから支障が生じないように手際よく行うように留意していただきたい。

6. 機器各論

一般事項についての概要が述べられたが，調節計，操作端といってもその種類，用途，構造，取扱法が異なっており，これらがわからないと使用保守の面に十分活用できないので，以下おのおのについてかなり詳しく述べてみたい。

6.1 大形調節計

種類としては大別して2種類であるが，その用途別にしたのが，**第3表**である。測定対象別にすれば種々あるが，調節機構からみるとほとんど同じで，細かい点で多少異なっている程度である。調節計の構成は次のものからなり立ち，それぞれの機能をもっている。

指針および設定指標………希望値をセットし，制御量を指示記録する。
偏差機構……………指針と指標のずれを機械的変位に換える。
復原機構……………出力圧を利用して，比例動作を行わせたり積分動作を行わせたりする。
差動検出機構…………偏差による変位量，復原による変位量を，リンク機構で種々感度を変える。ノズル，フラッパ機構をもっている。比例帯を変える。
パイロットバルブ…………ノズル背圧の変化を増幅する。
リセット機構……………積分動作のききぐあいを変えるもので，絞り弁と容量タンクからなる。
レート機構……………微分動作のききぐあいを変えるもので，やはり絞り弁と容量タンクからなる。

第9図　空気作動式調節計の構成

第10図　偏差測定機構

バイパス装置……………切換弁(自動や手動などに切換える)減圧弁(手動操作用)圧力計からなり，計器に内蔵されている。

これらのものが組合わされ，第9図のように配管接続されて調節計を形作る。これらについて逐一説明して行こう。

偏差機構(指針および指標を含む)は第10図に示すように構成されて，偏差によってリンクが矢印方向に動き，差動検出機構に伝えられる。この機構は偏差によってのみリンクが動く方式であるから，設定指標がどこに位置していても，それに指針が重なっている限りリンクの位置は同じである。この調整がうまく行っていないとオフセットが消えるべき比例+積分動作でもオフセットが生ずることになる。指針と指標の根元の部分に微調節用小ネジがついているが，このネジはまず手をふれないものと思ってもらいたい。これを用いて微調節を行うのは，圧力調節の場合実際の測定圧力に配管などによってヘッド圧力が加わるような場合であるが，内部機構に関連があり，みだりに動かすと，調整点がずれたり，真値がわからなくなったりする。やむをえず，動かす場合には，指針をずらしたら指標もそれだけずらす必要がある。ずらす量は限度があるから，大幅に動かすことは避けるべきで，内部調整からやりなおすほうが良い。

(未完)

Vol. 43　　日　立　評　論　　No. 3

目　次

発行所　日立評論社　東京都千代田区丸ノ内1丁目4番地　振替口座東京71824番
取次店　株式会社オーム社書店　東京都千代田区神田錦町3丁目1番地　振替口座東京20018番